

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-211132

(43)Date of publication of application : 29.07.2004

(51)Int.Cl.

G22C 38/00

B22F 7/04

G22C 38/52

(21)Application number : 2002-380203

(71)Applicant : KOMATSU LTD

(22)Date of filing : 27.12.2002

(72)Inventor : TAKAYAMA TAKEMORI

OKAMURA KAZUO

TANAKA YOSHIKIYO

ONISHI TETSUO

(54) ABRASION-RESISTANT SINTERED SLIDING MATERIAL, ABRASION-RESISTANT SINTERED SLIDING COMPOSITE MEMBER, AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an abrasion-resistant iron-based sintered sliding material which is superior in seizure resistance and abrasion resistance and is sintered into a high density by a powder-sintering method, to provide an abrasion-resistant iron-based sintered sliding composite member which has the abrasion-resistant iron-based sintered sliding material jointed onto a back metal by sintering, and to provide a manufacturing method therefor.

SOLUTION: This sliding material has a structure in which Cr₇C₃-type and/or M₆C-type carbides with an average grain size of at least 5 μm are dispersively precipitated so as to share 20 to 50 vol.% in an iron-based martensite parent phase that acquires a hardness HRC of 50 or higher even by tempering treatment below 600° C.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-211132

(P2004-211132A)

(43) 公開日 平成16年7月29日(2004.7.29)

(51) Int. Cl.⁷

C 2 2 C 38/00

B 2 2 F 7/04

C 2 2 C 38/52

F 1

C 2 2 C 38/00

B 2 2 F 7/04

C 2 2 C 38/52

3 0 4

H

テーマコード (参考)

4 K O 1 8

審査請求 未請求 請求項の数 28 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2002-380203 (P2002-380203)
 (22) 出願日 平成14年12月27日 (2002.12.27)

(71) 出願人 000001236
 株式会社小松製作所
 東京都港区赤坂二丁目3番6号
 (74) 代理人 100097755
 弁理士 井上 勉
 (72) 発明者 高山 武盛
 大阪府枚方市上野3丁目1-1 株式会社
 小松製作所生産技術開発センタ内
 (72) 発明者 岡村 和夫
 大阪府枚方市上野3丁目1-1 株式会社
 小松製作所生産技術開発センタ内
 (72) 発明者 田中 義清
 大阪府枚方市上野3丁目1-1 株式会社
 小松製作所生産技術開発センタ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐摩耗焼結摺動材料、耐摩耗焼結摺動複合部材およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 粉末焼結方法によって耐焼付き性と耐摩耗性に優れた高密度に焼結された耐摩耗鉄系焼結摺動材料と、その耐摩耗鉄系焼結摺動材料を裏金に焼結接合した耐摩耗鉄系焼結摺動複合部材およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 600℃までの焼戻し処理によっても硬さがHRC50以上となる鉄系マルテンサイト母相中に、少なくとも平均粒径が5μm以上のCr₇C₃型炭化物および/またはM₆C型炭化物を20～50体積%の範囲で析出分散させる構成とする。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

600℃までの焼戻し処理によっても硬さがHRC50以上となる鉄系マルテンサイト母相中に、少なくとも平均粒径が5μm以上のCr₇C₃型炭化物および／またはM₆C型炭化物を20～50体積%の範囲で析出分散させたことを特徴とする耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項 2】

前記鉄系マルテンサイト母相中においては、10～60体積%の残留オーステナイトを残留させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項 3】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；0.05～1.7重量%、Cr；3.5～7.0重量%を必須元素とし、Mo；0.4～2.0重量%およびV；0.2～0.7重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn、Ni、P、W、Co、Cu、Alの合金元素の一種以上を必要に応じて含有し、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を25～40体積%の範囲で析出分散させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項 4】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；0.05～1.7重量%、Cr；2.0～4.5重量%を必須元素とし、Mo；1.0～4.0重量%およびV；0.2～0.7重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn、Ni、P、W、Co、Cu、Alの合金元素の一種以上を必要に応じて含有し、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を25～40体積%の範囲で析出分散させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項 5】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；1.7～3.0重量%、Cr；2.0～4.5重量%を必須元素とし、Mo；0.4～3.2重量%およびV；0.1～0.35重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn、Ni、P、W、Co、Cu、Alの合金元素の一種以上を必要に応じて含有し、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を25～40体積%の範囲で析出分散させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項 6】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；0.05～1.7重量%、Cr；4.5～7.0重量%を必須元素とし、Mo；0.3～2.0重量%およびV；0.2～0.7重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn、Ni、P、W、Co、Cu、Alの合金元素の一種以上を必要に応じて含有し、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を15～35体積%およびM₆C型炭化物を10～25体積%析出分散させ、総炭化物量が25～45体積%の範囲で、その総炭化物量の50体積%以上がCr₇C₃型炭化物である請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項 7】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；0.05～1.7重量%、Cr；2.0～4.5重量%を必須元素とし、Mo；1.0～3.6重量%およびV；0.2～0.7重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn、Ni、P、W、Co、Cu、Alの合金元素の一種以上を必要に応じて含有し、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を15～30体積%およびM₆C型炭化物を10～25体積%析出分散させ、総炭化物量が25～50体積%の範囲で、Cr₇C₃型炭化物を主体として析出分散させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項 8】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；1.7～4.5重量%、Cr；2.0～4.5重量%を必須元素とし、Mo；0.4～3.2重量%およびV；0.1～0.35

10

20

30

40

50

重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn, Ni, P, W, Co, Cu, Alの合金元素の一種以上を必要に応じて含有し、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を15～30体積%およびM₆C型炭化物を10～25体積%析出分散させ、総炭化物量が25～50体積%の範囲で、Cr₇C₃型炭化物を主体として析出分散させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項9】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；0.05～1.7重量%、Cr；4.5～7.0重量%を必須元素とし、Mo；0.3～2.0重量%およびV；0.2～0.7重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn, Ni, P, W, Co, Cu, Alの合金元素の一種以上を必要に応じて含有し、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を20体積%以下およびM₆C型炭化物を15～30体積%析出分散させ、総炭化物量が25～50体積%の範囲で、M₆C型炭化物を主体として析出分散させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

10

【請求項10】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；0.05～1.7重量%、Cr；2.0～4.5重量%を必須元素とし、Mo；1.5～4.0重量%およびV；0.2～0.7重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn, Ni, P, W, Co, Cu, Al等の合金元素の一種以上が必要に応じて含有され、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を20体積%以下およびM₆C型炭化物を15～30体積%析出分散させ、総炭化物量が25～50体積%の範囲で、M₆C型炭化物を主体として析出分散させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

20

【請求項11】

少なくとも炭素；0.2～0.8重量%、Si；1.7～4.5重量%、Cr；2.0～4.5重量%を必須元素とし、Mo；1～2.5重量%およびV；0.2～0.35重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn, Ni, P, W, Co, Cu, Alの合金元素の一種以上を必要に応じて含有し、残りが実質Feからなるマルテンサイト相中に、Cr₇C₃型炭化物粒を20体積%以下およびM₆C型炭化物を15～30体積%析出分散させ、総炭化物量が25～50体積%の範囲で、M₆C型炭化物を主体として析出分散させる請求項1に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項12】

前記Mo添加量の範囲において、Moの一部をWで置き換えることを特徴とする請求項3～11のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動材料。

30

【請求項13】

前記Siを0.2～3.0重量%を含有するマルテンサイト相中において、Siの一部を0.2～1.5重量%Alで置き換えることを特徴とする請求項3～12のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項14】

0.3～4.0重量%のNiが共存添加されていることを特徴とする請求項13に記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項15】

Coが2～12重量%含有されていることを特徴とする請求項3～14のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動材料。

40

【請求項16】

Mn；0.3～2.0重量%、P；0.1～1.0重量%、B；0.05～0.2重量%の一種以上が含有されていることを特徴とする請求項3～15のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項17】

前記マルテンサイト相中において、Alが1.5～15重量%含有されていることを特徴とする請求項3～16のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項18】

50

前記マルテンサイト相中において、Cuが1～25重量%含有されていることを特徴とする請求項3～17のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動材料。

【請求項19】

前記請求項1～18のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動材料を鉄系裏金部材に焼結接合してなることを特徴とする耐摩耗焼結摺動複合部材。

【請求項20】

少なくとも炭素；1.0～3.7重量%、Cr；3.5～18重量%を含有する円筒状で薄い形状の耐摩耗鉄系焼結摺動材料を鉄系裏金部材に焼結接合した耐摩耗焼結摺動複合部材であって、少なくともその耐摩耗鉄系焼結摺動材料の内周面もしくは外周面に、円筒状の鉄系裏金の外周面もしくは内周面が焼結接合されることを特徴とする耐摩耗焼結摺動複合部材。

10

【請求項21】

円筒状で薄い形状の耐摩耗鉄系焼結摺動材料の上、下面のいずれか一方と、その内周面が焼結接合されるような形状の裏金を配して焼結接合する耐摩耗焼結摺動複合部材であって、前記耐摩耗焼結摺動材料および／または鉄系裏金に一本以上のガス抜き溝および／またはガス抜き孔を設けたことを特徴とする請求項19または20に記載の耐摩耗焼結摺動複合部材。

【請求項22】

ほぼ同一組成の耐摩耗焼結摺動材料からなる二つの表面層の中間層に鉄系裏金部材を配し、または、焼結後に相対密度93%以上に焼結する温度において前記二つの表面層より焼結時における収縮または膨張が小さい異種成分の鉄系焼結粉末成分に調整される鉄系焼結材よりなる裏金部材を配し、前記二つの表面層を焼結する際に前記中間層と接合させることを特徴とする請求項19に記載の耐摩耗焼結摺動複合部材。

20

【請求項23】

建設機械の下転輪、上転輪、アイドラ、歯車減速機装置等のオイルシール用のフローティングシールに適用されることを特徴とする請求項19～22のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動複合部材。

【請求項24】

建設機械の作業機連結部に使用されるスラストワッシャに適用されることを特徴とする請求項19～22のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動複合部材。

30

【請求項25】

建設機械の履帯に使用される履帯ブッシュ端面部に焼結接合および接着してなることを特徴とする請求項19～22のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動複合部材。

【請求項26】

前記請求項19～25のいずれかに記載の耐摩耗焼結摺動複合部材の製造方法であって、焼結用混合粉末重量に対して2.5～5重量%の有機系潤滑剤を添加した後に、60～150℃の温度で加熱混合しながら、2mm以下に造粒した原料を加圧力0.4～3.5ton/cm²で機械的にプレス成形し、AXガス雰囲気もしくは真空雰囲気中で1100～1250℃で鉄系裏金部材と焼結接合した後、冷却して焼入れ処理することを特徴とする耐摩耗焼結摺動複合部材の製造方法。

40

【請求項27】

円筒状で薄い形状の耐摩耗鉄系焼結摺動材料の上、下面のいずれか一方と、その内周面が焼結接合されるような形状の裏金を配して焼結接合する耐摩耗焼結摺動複合部材であって、前記耐摩耗焼結摺動材料および／または鉄系裏金に一本以上のガス抜き溝および／またはガス抜き孔を設けて焼結接合する請求項26に記載の耐摩耗焼結摺動複合部材の製造方法。

【請求項28】

裏金部材および／または耐摩耗焼結材料側に焼結時に発生するガスや余分な液相を接合面系外に導出するために少なくとも一箇所以上のガス抜き溝および／またはガス抜き孔を設け、焼結接合率を高めたことを特徴とする請求項26に記載の耐摩耗焼結摺動複合部材の

50

製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、建設機械等の回転部位に多用されるシール材料等を使用され、とりわけ、高面圧、低速度、高速度等の潤滑の悪い状況下での摺動時における耐焼付き性の改善と異常摩耗の防止、さらには摩耗寿命の延長を図るための新しい耐摩耗焼結摺動材料と、この耐摩耗焼結摺動材料を裏金部材に焼結接合し、潤滑油の封入用に用いるフローティングシールや作業機連結部位に用いるスラストワッシャ、足回り履帯ブッシュの端面部位に適用されるより高性能な耐摩耗焼結摺動複合部材とその製造方法に関するものである。

10

【0002】

【従来の技術】

建設機械の下転輪ローラアッセンに組み込まれるフローティングシールは、土砂の進入を防止するものであるために、耐食性に優れるとともに、硬質なCr₇C₃炭化物を30体積%以上に多量に晶出させることによってその焼付き性や耐摩耗性を改善した高硬度な高炭素高Cr鋳鉄で製造されていることが多い。また、より高速な条件で摺動するフローティングシールでは、その摺動面にWCと自溶性合金からなる超硬溶射コーティングを施して使用されている。

【0003】

また、作業機ブッシュの端面スラストワッシャのように、より高面圧、低速のグリース潤滑下で焼き付かずに摺動し、かつ、耐摩耗性や耐荷重性を重視した耐摩耗摺動材料としては、浸炭や高周波焼入れした鋼製のスラストワッシャが用いられている。また、近年、イーザーメンテナンス化のニーズから、給脂間隔を延ばすために、例えば建設機械の作業機連結部において、作業機ブッシュに潤滑油を含浸した含油ブッシュを用い、その端面部に配置するスラストワッシャとして、鋼にWC自溶性合金からなる耐焼付き性と耐摩耗性に優れた超硬溶射コーティングを施したスラストワッシャを用いることが一部において実施されている。

20

【0004】

なお、本願発明に関連する先行技術として、マルテンサイト母相の焼戻し軟化抵抗性を効率的に高める合金元素の添加法に関しては、本出願人の先願になる、特願2002-135274号および特願2002-240967号等に開示されるものがある。

30

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前述の下転輪ローラアッセン中の潤滑油を密封するフローティングシールにおいては、その機構において土砂中での初摺り運動によって微細な土砂粒子がシール面に進入しながら摩耗が進行するとともに、密封する潤滑油によってそのシール面が潤滑されているものであるために、極めて潤滑条件が厳しく、フローティングシールを組み込む際のセット圧（押し付け力）が高くなるとその摺動面において顕著に焼付き、焼割れ、異常摩耗が発生し、油漏れを引き起こすという問題点がある。

【0006】

さらに、近年のブルドーザ等の建設機械においては、より高速走行による作業効率の向上が要望され、フローティングシールの高速回転化によっても同様の焼付き、焼割れ、異常摩耗が発生し、油漏れを引き起こすこととなる。

40

【0007】

また、下転輪ローラアッセン等の長寿命化によるコスト削減が要望され、現状の耐摩耗鋳鋼材料では十分な耐摩耗性を持たないという問題点がある。

【0008】

さらに、前記作業機軸受部に用いる溶射スラストワッシャにおいては、進入する土砂による噛み込みによって損傷することが問題となっている。

【0009】

50

また、前記フローティングシールやスラストワッシャの耐焼付き性と耐摩耗性を向上させる材料として冷間工具鋼（SKD材料）や高速度鋼（SKH材料）等の各種工具鋼の適用が検討されるが、これらの工具鋼では、耐焼付き性、耐摩耗性において必ずしも十分でなく、かつ、極めて高価な鋼材であるとともに、製品形状に仕上げるまでの材料歩留まりを考慮した時の材料費と機械加工費とが高価になり過ぎるという問題点がある。

【0010】

本発明は、このような問題点に鑑みてなされたもので、粉末焼結方法によって耐焼付き性と耐摩耗性に優れた高密度に焼結された耐摩耗鉄系焼結摺動材料を提供し、さらに、その耐摩耗鉄系焼結摺動材料を焼結する工程においてその材料を裏金に焼結接合することによって、焼結時の緻密化による形状、寸法精度の不安定さを解消する低歪耐摩耗鉄系焼結摺動複合部材およびその製造方法を提供することを目的とするものである。

10

【0011】

【課題を解決するための手段および作用・効果】

高炭素高Cr鋼で製造されるフローティングシールは、Fe-C-Cr状態図における共晶組成（炭素量約3.4重量%）近傍の組成を持ち、 Cr_7C_3 炭化物を初晶として（ロッド状、径：2~3 μm ）晶出した後、微細なロッド状（径：約0.3 μm ）の Cr_7C_3 とオーステナイト相（冷却後にマルテンサイト相）からなる共晶組織を形成し、硬質な Cr_7C_3 炭化物の総量が30~40体積%となるようにされるものであるが、凝固時の冷却方向と平行にロッド状の Cr_7C_3 炭化物が配列し、フローティングシール摺動面と平行に Cr_7C_3 の脆弱な壁開面（00.1）が配向しやすくなるために、摺動面の局所的に発生する凝着力によって微細な共晶炭化物（ Cr_7C_3 ）が容易に破砕され、この破砕粉が更なる凝着と摩耗を促進するという本質的な問題がある。

20

【0012】

また、SKD1, SKD2, SKD11等の高炭素高Cr系工具鋼溶製材においては高合金鋼特有の巨大炭化物（ Cr_7C_3 型）と微細な Cr_7C_3 型炭化物がマルテンサイト母相中に析出分散するが、多量の巨大炭化物が不均一に分散することと、その総炭化物量が20体積%を越えることがないために前記耐焼付き性および耐摩耗性において十分でない問題があり、さらに、より高硬度なSKH2, SKH10, SKH54, SKH57等の高速度鋼溶製材においても、 M_6C 型炭化物やMC型炭化物をマルテンサイト母相中に多量に析出分散させているが、その総炭化物量が15体積%を超えないことは前記高炭素高Cr系工具鋼と同じ問題を有していることは明らかである。

30

【0013】

このような問題点に鑑み、第1発明では、前記SKD, SKH工具鋼のような600℃までの焼戻しによってもHRC50以上の硬さが確保されるマルテンサイト母相中に、少なくとも、焼結状態で粒状の Cr_7C_3 型および／または M_6C 型（ Fe_3Mo_3C , Fe_3W_3C , $Fe_3(Mo, W)_3C$ ）炭化物を分散させ、 Cr_7C_3 型炭化物の壁開面が前記摺動面に対してランダムに配置されるようにして、 Cr_7C_3 炭化物の破損を軽減するとともに、さらに、 M_6C 炭化物をも含めた総炭化物分散量を20~50体積%に増量できる耐摩耗性に優れた高炭素高Cr高Mo組成な耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した。

【0014】

分散させる炭化物として、MC型炭化物は好ましいものであるが、MC型炭化物を多く分散させる場合には、W, V, Ti, Nb, Zr等の合金元素が多量に必要となり、耐摩耗焼結摺動材料の経済性が悪くなるので、本発明ではMC型炭化物の析出分散を抑えるようにして、5体積%以下であれば良いものとした。

40

【0015】

また、前記炭化物は、高濃度に Cr_7C_3 型炭化物を含有する高炭素Fe-Cr合金微粉末や高濃度に M_6C 型炭化物を含有する高炭素Fe-Mo合金微粉末として添加することが可能であるが、焼結時に含有させる炭素成分とCrおよび／またはMo等が反応して、マルテンサイト母相と平衡した組成の炭化物を析出分散させる方法が、例えば M_6C 炭化物中のMo濃度を低減できる意味合いからも好ましいことは明らかである。

50

【0016】

さらに、その Cr_7C_3 型炭化物の特徴としては、その大きさが前述の初晶 Cr_7C_3 型炭化物の径と同等以上の $3\mu\text{m}$ 以上の破損されにくいものとするが、後述のフローティングシール摺動面の断面観察から、局部凝着や摩耗時に発生する引きずり応力が表面から $5\sim 8\mu\text{m}$ の深さに集中していることから、その平均粒径 $5\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましく、その粗大な炭化物を析出分散させるために、大半（80体積%以上）の Cr_7C_3 炭化物粒を結晶粒界に析出させて速く成長させることを特徴とし、粒界に析出させた大きな Cr_7C_3 型炭化物に囲まれるように、粒内に析出するわずかな粒状の Cr_7C_3 型炭化物が耐焼付き性や耐摩耗性を劣化させないようにした。

【0017】

またさらに、総炭化物量を20体積%以上としたのは、通常の各種炭化物を析出分散させた高炭素な工具鋼（例えばSKD1, SKD2）においても炭化物量が20体積%を超えることがなく、これらの工具鋼よりもより耐摩耗性と耐焼付き性を改善することから定めたものであり、より好ましくは25体積%以上であることは明らかである。また、総炭化物量を50体積%未満に抑制したのは、炭化物の組織的連続化による脆弱化を防止するためであり、好ましくは総炭化物量を45体積%以下にすることが望ましいことは明らかである。

【0018】

前記高炭素な工具鋼においては、焼入れ状態においてしばしば多量の残留オーステナイト相が形成されて焼入れ硬さを低下させるが、本発明の予備テストとして、各種の高炭素な工具鋼を焼入れ温度を変えて焼入れした状態での残留オーステナイト相量（体積%）とその時の硬さを調査した結果、残留オーステナイト相量が60体積%を超えた場合において、HRC50の硬さが確保されない問題が発生しやすくなることがわかった。このことから、本発明においては、残留オーステナイト相量を60体積%以下に抑えることが望ましいのは明らかであり、残留オーステナイト相を抑えるために、 1100°C 以上の焼結温度で焼入れずに、 $900^\circ\text{C}\sim 1100^\circ\text{C}$ の焼入れ温度に冷却した後に焼入れ処理すること、および、高合金工具鋼の焼戻し処理のように $250\sim 600^\circ\text{C}$ の焼戻し処理を施し、残留オーステナイトを分解するとともに合金炭化物を析出させることのいずれか一方もしくはその両方を施すのが望ましいことは明らかである。

【0019】

土砂を噛み込みながら摩耗するフローティングシールやスラストワッシャ等では、摺動面における残留オーステナイト相はマルテンサイト相に加工誘起マルテンサイト変態することが知られているが、前記予備テストにおいて、焼入れ状態で60体積%以上の残留オーステナイト相を形成した場合においては残留オーステナイトがより安定化されるために有効にそのマルテンサイト変態が進行せず、耐摩耗性が悪くなることが予測された。

【0020】

また、フローティングシールに適用する場合においては、残留オーステナイト相は摺動面での局部的な凝着や摩耗時に働く応力によって加工誘起マルテンサイト変態を起こし、その変態部位が顕著に硬化するとともに、マルテンサイト変態によってそのシール間の馴染みを改善することによって、初期油漏れと耐焼付き性が改善され、また、類似の現象は高面圧下ですべりながら転動する歯車材においても良く知られているので、第2発明として、前述の耐摩耗鉄系焼結摺動材料のマルテンサイト母相中においては、10～60体積%の残留オーステナイト相を残留させることとした。なお、より好ましくは20～60体積%である。

【0021】

また、残留オーステナイト相はMn, Niの添加によって顕著に安定化され、多量に残留されるようになるが、Mnは焼結性を阻害しやすい元素であるために、その添加量は2重量%以下に調整しておくことが好都合であり、Niは炭化物よりもマルテンサイト母相中に顕著に濃縮し、Alとの共存によってマルテンサイト母相の強靱性を高めるので積極的に添加することが好ましいが、残留オーステナイトが残留しすぎて耐摩耗性を劣化させる

10

20

30

40

50

観点からその添加量は4重量%以下に抑えるのが好ましい。

【0022】

フローティングシール（図5参照）の鍔部中心の温度は通常100～150℃にまで昇温し、しばしば、その凝着しはじめた摺動面には熱亀裂の発生も観察されることを考慮した場合、その摺動面は500～600℃の高温度に晒されていることが容易に類推される。この摺動時の発熱によって前記焼結材料中のマルテンサイト母相が摺動中に焼戻し軟化された場合には、前記硬質な炭化物粒子が析出分散されていてもその耐焼付き性と耐摩耗性が顕著に減少することは明らかである。したがって、本発明においては、マルテンサイト母相の焼戻し軟化抵抗性を前記SKD系工具鋼並み、もしくはそれ以上に高めるために、少なくとも600℃の焼戻しによってもマルテンサイト母相の硬さがHRC50以上に維持されるようにマルテンサイト母相の成分を調整することを特徴とし、このマルテンサイト母相中に20～50体積%の前記炭化物を析出分散させることを特徴とした。

10

【0023】

前記マルテンサイト母相の焼戻し軟化抵抗性をより効率的に高める合金元素の添加法に関しては、本出願人が特願2002-240967号および特願2002-135274号において開示している。すなわち、炭素：0.25～0.55重量%で、Crを3.5～5.5重量%以上に含有させる鋼材系においては、（焼戻し軟化抵抗係数×合金元素の重量%）で合金元素の焼戻し軟化抵抗値を次式のように定量化している。

$$\begin{aligned} \text{焼戻し軟化抵抗値} = & 3 \times (\text{Si} + \text{Al}) \text{重量\%} + 2.8 \times \text{Cr重量\%} \\ & + 11 \times \text{Mo重量\%} + 25.7 \times \text{V重量\%} \\ & + 7.5 \times \text{W重量\%} \end{aligned}$$

20

ここで、焼戻し軟化抵抗係数は各合金元素1重量%当りのロックウェル硬さの増量分を与えるものであり、Mo重量%の上限値はMo炭化物の固溶度との関係で決まる有効添加量（1000℃；2.1重量%，1100℃；3.0重量%，1150℃；4重量%）となり、それ以上のMoの添加は炭化物形成に使われ、焼戻し軟化抵抗性の改善に寄与しない。

【0024】

なお、本発明のように焼結温度が1100～1250℃で焼結され、それに続いて焼入れされる場合には、マルテンサイト母相におけるMoの有効添加量は最大4重量%とし、後述のように4.5重量%以上のCrを添加することによって、その有効添加量は2.0重量%となるために、Mo添加量はマルテンサイト母相において2.0重量%を超えないように調整することが、機能的および経済的に有効であることがわかる。この場合には残留オーステナイトが多量に形成されるために、焼入れ状態において十分硬化されないことが多いが、前述の高合金工具鋼に適用される450～600℃の焼戻し処理によってより硬質な耐摩耗鉄系焼結摺動材料となることは明らかである。

30

【0025】

ただし、前記焼結温度から焼入れ温度に炉冷した後に焼入れする場合においては、焼入れ状態での残留オーステナイト相量が抑制されるが、そのMo有効添加量は焼入れ温度にしたがって減少することは明らかである。例えば1000℃を焼入れ温度とする場合には、マルテンサイト母相におけるMoの有効添加量は最大2.1重量%で、3.5重量%以上のCrとの共存によって、その有効添加量は1.05重量%になることは明らかであり、その結果、マルテンサイト母相として焼戻し軟化抵抗性が減少することも明らかである。

40

【0026】

また、Crの焼戻し軟化抵抗性改善作用はマルテンサイト母相中の炭素濃度に依存することは特願2002-240967号および特願2002-135274号で開示している通りであるが、1100℃以上の焼結温度でのマルテンサイト母相中の炭素濃度が0.7重量%程度である場合には、4.5重量%Cr以上でMoの有効添加量を1/2に減ずる、Siの焼戻し軟化抵抗係数を減ずる作用を示し、さらに、7.0重量%Cr以上でCr

50

固有の焼戻し軟化抵抗係数を減ずることを考慮することが望ましいことがわかるが、Moの場合と同様に焼入れ温度を950～1000℃とする場合には、3.5重量%Cr以上でMoの有効添加量を1/2に減ずる、Siの焼戻し軟化抵抗係数を減ずる作用を示すことは明らかである。

【0027】

さらに、前記マルテンサイト母相の焼戻し軟化抵抗性を最も顕著に高めるVは、その焼戻し軟化抵抗性に有効に作用する最大添加量が1100～1250℃の焼結を実施する本発明においてはVのマルテンサイト母相への固溶度が0.7重量%以上であることから（特願2002-240967号および特願2002-135274号参照；焼入れ温度950℃；0.4重量%、1000℃；0.5重量%から1100℃；0.7重量%を推定できる）、Vのマルテンサイト母相における有効添加量を0.7重量%とすることができるとわかる。ただし、前記焼結温度より焼入れ温度まで炉冷した後に焼入れする場合には、その有効添加量が焼入れ温度にしたがって減少することは明らかである。

10

【0028】

さらにまた、マルテンサイト母相中のSiは、1.7重量%以上を越えるとVの有効添加量を半減する作用を示すこと、および、Si重量%の1/2量分がMoの有効添加量（重量%）を減ずることから、Siの添加量を考慮する必要があることが開示されている。

【0029】

以上の結果を後述する各種工具鋼のマルテンサイト母相中のCrが3.5重量%以上であり、高Crが耐食性に優れることを考慮して、

20

第3発明としては、マルテンサイト母相組成がSi：0.05～1.7重量%、Cr：3.5～7.0重量%の範囲で調整され、Mo：0.4～2.0重量%および／またはV：0.2～0.7重量%とし、さらに、Mn、W、Ni、Co、Cu、Al等の一種以上の合金元素を適量添加して、そのマルテンサイト母相中に25～40体積%のCr₇C₃型炭化物粒を析出分散させた耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した。より好ましくはSi：0.05～1.0重量%に抑え、焼戻し軟化抵抗性を高めるMoおよび／またはVをそれぞれMo：1.0～2.0重量%、V：0.45～0.7重量%の範囲に調整することが好ましいことは明らかである。

【0030】

前記第3発明のようにマルテンサイト母相組成と析出分散させる炭化物量が設定された場合の耐摩耗鉄系焼結摺動材料組成は、前記組成のマルテンサイト母相とその母相と平衡しながら析出分散するCr₇C₃型炭化物との間のCr、Si、Mo、V、W、Ni、Co、Cu、Al、Mn等の各種合金元素の分配係数を後述する実施例のように予め調査しておくことによって炭化物組成が計算され、さらに、その析出分散する炭化物量の設定値とマルテンサイト母相組成から算出される。こうして、前記第3発明における耐摩耗鉄系焼結材料の組成を計算した結果、

30

少なくとも、C：2.5～3.7重量%、Si：0.05～1.3重量%、Cr：1.0～1.8重量%を必須元素として、Mo：0.6～3.5重量%、V：0.4～4.0重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn、Ni、W、Co、Cu、Alの一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発したが、より好ましくはSi：0.05～0.8重量%、Mo：1.5～3.5重量%、V：1.5～4.0重量%とした耐摩耗鉄系焼結摺動材料であることは明らかである。とりわけ、VはCr₇C₃型炭化物に顕著に濃縮して、熱力学的に安定化することから、母相における固溶炭素量を低減するとともに、より顕著にマルテンサイト母相の焼戻し硬さを高める作用を持つことから、前述のフローティングシールに適用する場合の摺動面における熱亀裂抵抗性と耐焼付き性および耐摩耗性を向上する上で好ましいことは明らかである。

40

【0031】

また、後述する従来の工具鋼の焼戻し硬さは、300～400℃付近で一旦軟化した後に、MoやV、W等の元素の作用により450℃以上で再硬化（二次硬化）する場合が一般的であり、フローティングシールやスラストワッシャ用として使用する場合には、300

50

～400℃近傍での軟化を最小にとどめ、600℃までの焼戻し硬さがHRC50以上であるようにすることが好ましく、前述の高合金工具鋼の焼戻し処理を実施することが好ましいが、そのような焼戻し処理が高価なために、400℃以下の低温度側における焼戻し軟化抵抗性を顕著に高める安価なSi, Alを最大限に効率的に利用することが好ましい。この場合には、母相中のCr濃度を2.0～4.5重量%, Siを0.05～1.7重量%, Moを1～4.0重量%になるようにして、さらにまたは、Vを0.2～0.7重量%まで積極的に添加することができるが、好ましくは、Si:0.8～1.7重量%, Mo:1～3.6重量%とすることが経済的であることは明らかであり、これらの場合においても、W, Ni, Co, Cu, Al, Mn等の合金元素を適量添加して、焼戻し軟化抵抗性を高めることや焼入れ性を確保することが好ましいことは明らかであり、第4発明

10

【0032】

なお、第4発明における焼戻し軟化抵抗は600℃での焼戻し硬さ(HRC)が50以上になる次式

$$\begin{aligned} \text{焼戻し軟化抵抗値} & 21.2 \leq 5.8 \times (\text{Si} + \text{Al}) \text{重量}\% + 2.8 \\ & \times \text{Cr重量}\% + 11 \times \text{Mo重量}\% + 25.7 \\ & \times \text{V重量}\% + 7.5 \times \text{W重量}\% \end{aligned}$$

20

によって計算されることが開示されており、Si下限値:0.8重量%, Mo下限値:1重量%を添加したときの上式を満足させるCr濃度は約2重量%であり、SKD4, SKD5の母相Cr濃度が2重量%であることや耐食性をあまり必要としない場合においては、第4発明におけるCr濃度範囲が2.0～4.5重量%未満とすることが経済的な観点からも好ましいことは明らかである。

【0033】

前記第3発明における耐摩耗鉄系焼結焼結材料の組成を計算した方法と同様に、前記第4発明における耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成を計算した結果、

少なくとも、C:2.5～3.7重量%, Si:0.05～1.3重量%, Cr:8～13.5重量%, Mo:2.0～6.5重量%, V:0.4～4.0重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn, Ni, W, Co, Cu, Alの一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発したが、上述のようにマルテンサイト母相におけるSi含有量が0.8～1.7重量%であるためには、耐摩耗鉄系焼結摺動材料のSi濃度としては0.7～1.3重量%、さらに、第3発明と同じ理由でV:1.5～4.0重量%とすることがより好ましいことは明らかである。

30

【0034】

またさらに、前記Siの焼戻し軟化抵抗特性を最大限に利用し、Mo, Vの多量添加を避ける目的から、前記母相中のSi:1.7～3.0重量%, Mo:1.0～3.1重量%とし、かつV:0.1～0.35重量%とすることによってより経済的な耐摩耗鉄系焼結摺動材料が開発され、その耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成は、

40

少なくとも、C:2.5～3.7重量%, Si:1.3～2.3重量%, Cr:8～13.5重量%, Mo:1.5～5重量%, V:0.4～2.0重量%のいずれか一方もしくは両方を含有するとともに、さらに、Mn, Ni, W, Co, Cu, Alの一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した(第5発明)。

【0035】

なお、Si, Alの添加はA3変態温度を顕著に高温側へ引き上げる作用をするために、摺動面における熱亀裂の発生を抑制することが明らかである($\Delta A3 = +40^\circ\text{C}/\text{Si重量}\%$, $\text{Mo}: +20^\circ\text{C}/\text{Mo重量}\%$, $\text{Al}: +70^\circ\text{C}/\text{Al重量}\%$, $\text{V}: +40^\circ\text{C}/\text{V重量}\%$, $\text{W}: +12^\circ\text{C}/\text{W重量}\%$, $\text{Mn}: -30^\circ\text{C}/\text{Mn重量}\%$, $\text{Ni}: -15^\circ\text{C}/\text{Ni重量}\%$)。

50

【0036】

前記第3発明、第4発明、第5発明においては、前記脆弱な Cr_7C_3 型炭化物をランダムに析出分散させたものとしているが、第6発明、第7発明および第8発明においては、結晶構造が面心立方体構造であり、 Cr_7C_3 炭化物よりもその壁開強度が強く、また、約400℃以上の高温側において高硬度である M_6C ($\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$, $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, $\text{Fe}_3(\text{Mo}, \text{W})_3\text{C}$)炭化物を10～20体積%析出分散させ、 Cr_7C_3 型炭化物の割合を減じながら、それらの総炭化物量を25～45体積%未満にし、さらに、マルテンサイト母相組成が第3発明と同じ焼戻し軟化抵抗性を有することによってより高面圧（線圧）、高速化で使用する際に問題になるフローティングシールの耐焼付き性、耐摩耗性を改善するものとした。

10

【0037】

なお、第6発明、第7発明、第8発明の耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成としては、前記第3発明、第4発明、第5発明の場合と同様に計算される。

まず、第6発明の耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成としては、

少なくとも、C: 2.0～3.6重量%, Si: 0.2～1.8重量%, Cr: 8～18重量%, Mo: 1.0～10.0重量%を必須元素とし、かつ、耐摩耗性を重要視する場合においてはV: 0.7～3.5重量%を含有するものとして、さらに、Mn, Ni, W, Co, Cu, Alの一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した。

【0038】

なお、マルテンサイト母相と平衡する Cr_7C_3 型炭化物と M_6C 型炭化物へのVの濃縮傾向を比較すると、 M_6C へのV濃縮傾向は1/3程度に小さく、 M_6C 型炭化物を多く析出させるほどマルテンサイト母相の同じ焼戻し軟化抵抗性に有するための耐摩耗鉄系焼結摺動材料におけるV添加量が少なく済むようになることは好ましいことであるので、Vをより積極的に添加することが好ましく、前記第6発明においてはC: 2.0～3.6重量%, Si: 0.05～1.8重量%, S: 0.05～1.8重量%, Cr: 8～18重量%, Mo: 3.5～7.5重量%を必須元素とし、かつ、耐摩耗性を重要視する場合においてはV: 1.5～3.5重量%を含有するものとする耐摩耗鉄系焼結摺動材料がより好ましいことは明らかである。

20

【0039】

次に、第7発明の耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成としては、

少なくとも、C: 2.0～3.6重量%, Si: 0.05～1.8重量%, Cr: 3.5～11重量%, Mo: 3.0～18.0重量%を必須元素とし、かつ、耐摩耗性を重要視する場合においてはV: 0.7～3.5重量%を含有するものとしたが、さらに、Mn, Ni, W, Co, Cu, Alの一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した。より好ましくは、前記C: 2.0～3.0重量%, Cr: 5～9重量%, Mo: 4.5～13重量%, V: 1.5～3.5重量%を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料とするのが良いことは明らかである。

30

【0040】

さらに、第8発明の耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成としては、

少なくとも、C: 2.0～3.6重量%, Si: 1.7～3.2重量%, Cr: 3.5～11重量%, Mo: 1.5～16.0重量%を必須元素とし、かつ、耐摩耗性を重要視する場合においてはV: 0.7～2.0重量%を含有するものとしたが、さらに、Mn, Ni, W, Co, Cu, Alの一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発したが、より好ましくは、前記C: 2.0～3.0重量%, Cr: 5～9重量%, Mo: 3.0～12.5重量%を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料とするのが良いことは明らかである。

40

【0041】

なお、前記第3発明～第8発明における炭化物は安価な Cr_7C_3 型炭化物を主体にしたものであり、 Cr_7C_3 型炭化物の脆弱性を伴うために、第9発明～第11発明においては、第3発明～第5発明と同じ組成のマルテンサイト母相中に M_6C 型炭化物が主体的に析出分散する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した。

50

より具体的には、析出分散する Cr_7C_3 型炭化物を20体積%以下に抑え、 M_6C 型炭化物が15～40体積%で、総炭化物量が25～45体積%となるようにして、その耐摩耗鉄系焼結摺動材料の耐摩耗性と耐焼付き性を改善した。

【0042】

まず、第9発明における前記母相組成は、 C :0.5重量%、 Si :0.05～1.7重量%、 Cr :4.5～7.0重量%、 Mo :1.0～2.0重量%、 V :0.2～0.7重量%として、その耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成を計算した結果、

少なくとも、 C :1.8～2.6重量%、 Si :0.06～2.3重量%、 Cr :6～14重量%、 Mo :3.6～15.5重量%が不可避免的に含有され、かつ、耐摩耗性を重要視する場合においては V :0.7～3.0重量%を含有するものとしたが、さらに、 Mn 、 Ni 、 W 、 Co 、 Cu 、 Al の一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した。より好ましくは、前記 Cr :7～12重量%、 Mo :3.6～12.5重量%、 V :1.5～4.0重量%を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料が良いのは明らかである。

10

【0043】

次に、第10発明における前記母相組成は、 C :0.5重量%、 Si :0.05～1.7重量%、 Cr :2.0～4.5重量%未満、 Mo :1.5～4.0重量%、 V :0.2～0.7重量%として、その耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成を計算した結果、

少なくとも、 C :1.8～2.6重量%、 Si :0.06～2.3重量%、 Cr :3.5～8.5重量%、 Mo :5.5～20重量%が不可避免的に含有され、かつ、耐摩耗性を重要視する場合においては V :0.7～3.0重量%を含有するものとしたが、さらに、 Mn 、 Ni 、 W 、 Co 、 Cu 、 Al の一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した。 Cr 、 Mo 、 V の経済性を考慮して、 Si :1.0～2.3重量%、 Cr :3.5～7.0重量%、 Mo :8～17重量%、 V :1.5～3.0重量%とすることが好ましいことは明らかである。

20

【0044】

さらに、第11発明における前記母相組成は、 C :0.5重量%、 Si :1.7～3.0重量%、 Cr :2.0～4.5重量%未満、 Mo :1.0～2.5重量%、 V :0.2～0.35重量%として、その耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成を計算した結果、

少なくとも、 C :1.8～2.4重量%、 Si :1.8～3.5重量%、 Cr :3.5～8.5重量%、 Mo :4.0～17重量%が不可避免的に含有され、かつ、耐摩耗性を重要視する場合においては V :0.7～1.5重量%を含有するものとしたが、さらに、 Mn 、 Ni 、 W 、 Co 、 Cu 、 Al の一種以上を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発した。 Si 、 Cr 、 Mo 、 V の経済性を考慮して、 Cr :3.5～7.0重量%、 Mo :4～14重量%、 V :1.5～3.0重量%とすることが好ましいことは明らかである。

30

【0045】

なお、前記第3発明～第11発明における W の機能は V 、 Mo ほどに焼戻し軟化抵抗性を高めるものではないが、 Mo 、 Cr 等の焼戻し軟化抵抗性が500～550℃で最大作用を示すのに対して、 W 、 V が600℃以上まで焼戻し軟化抵抗性を増すことから、とりわけ、SKD2、SKD4、SKD5、SKD62および高速度鋼に多く利用されているが、前記耐摩耗鉄系焼結摺動材料を製造する際の焼結温度が1100℃～1250℃であり、 W の焼戻し軟化抵抗性に寄与する有効添加量が2重量%であることおよび Mo に対する同等の Cr および Si の影響を考慮し、マルテンサイト母相中の W の上限添加量を2.0重量%とし、前記20～45体積%の炭化物を析出分散させる耐摩耗鉄系焼結摺動材料においては Mo 添加量の1/2(Mo の上限添加量が4重量%であり、 W がその1/2で、 Cr_7C_3 および M_6C 型炭化物への濃縮傾向が Mo とほぼ同等であることから)を上限として添加することが好ましいが、さらに、本発明では経済性の観点から Mo の添加量範囲において Mo の1/2までの範囲で W が置き換えられることとした(第12発明)。

40

【0046】

また、特願2002-240967号および特願2002-135274号においては、前記マルテンサイト母相の焼戻し軟化抵抗性に対する Al 添加の影響を開示しており、 A

50

l は S i とほぼ同様に顕著な焼戻し軟化抵抗性を示し、とりわけ、約 3 0 0 °C までの低温側での焼戻し軟化抵抗性に関しては、V, S i, M o, C r 等の合金元素の焼戻し軟化抵抗性よりも顕著な作用を示すことから、前記第 3 発明～第 1 2 発明のいずれにおいても積極的に添加されることが好ましく、マルテンサイト母相においては、S i の一部が 0. 2 ～ 1. 5 重量% A l で置き換えられることが好ましい（第 1 3 発明）。

【0047】

さらに、前記特願 2 0 0 2 - 2 4 0 9 6 7 号および特願 2 0 0 2 - 1 3 5 2 7 4 号において開示されているように、前記 A l と N i が共存して含有されることにより、マルテンサイト母相の靱性が顕著に改善されることから、N i : 0. 3 ～ 3. 5 重量% がマルテンサイト母相に含有されることが好ましいことは明らかである。

10

【0048】

また、前記第 3 発明～第 1 4 発明における N i は、M n と同様に前記耐摩耗鉄系焼結摺動材料の焼入れ性を補償する元素であるが、特願 2 0 0 2 - 2 4 0 9 6 7 号および特願 2 0 0 2 - 1 3 5 2 7 4 号に開示されているように、マルテンサイト母相中に 0. 2 重量% 以上の A l と 0. 3 重量% 以上の N i が共存する場合において、その靱性が改善されることと、炭化物とほとんど反応しない N i, A l, S i 同士が 5 0 0 °C 以上の高温で金属間化合物を析出し、硬化する作用があることから、さらに前述のように残留オーステナイトを積極的に利用する観点から、マルテンサイト母相において 0. 3 重量% 以上を含有することが好ましいが、N i は顕著に残留オーステナイト相を安定化し、添加しすぎた場合には耐摩耗性を悪くすることから、前記母相における N i の上限添加量を 5 重量% とし、前記耐摩耗鉄系焼結摺動材料としては 0. 3 ～ 4. 0 重量% とした（第 1 4 発明）。

20

【0049】

また、C o はマルテンサイト母相の磁気変態温度を顕著に高める（約 1 0 °C / 重量% C o ）ことから、マルテンサイト母相中の合金元素の拡散性を小さくするように作用し、他の合金元素の焼戻し軟化抵抗性を磁気変態温度の上昇分より高温側まで高める元素であるために、C o を積極的に添加するものであるが、第 1 5 発明では、その母相中の C o 組成としては約 3 0 °C の焼戻し軟化抵抗性の高温化が得られる 3 重量% 以上で、また、その経済性を考慮してマルテンサイト母相中の C o 上限添加量を 1 5 重量% とすることが好ましく、前記 2 5 ～ 4 0 体積% 未満の炭化物を析出分散させる耐摩耗鉄系焼結摺動材料においては 2 ～ 1 2 重量% を添加することが好ましいこととした。

30

【0050】

なお、C o は前記磁気変態による焼戻し軟化抵抗改善作用だけでなく、特願 2 0 0 2 - 1 3 5 2 7 5 号で開示したように、後述する A l の添加によって金属間化合物の析出硬化作用により顕著に硬化することから、前記 1 2 重量% （マルテンサイト母相では 1 5 重量% となる）までの積極的な C o 添加がより好ましいことは明らかである。

【0051】

また、前記第 3 発明～第 1 5 発明における M n は、前記耐摩耗鉄系焼結摺動材料の焼入れ性を補償するための元素であり、焼戻し軟化抵抗性改善にほとんど寄与しない合金元素であるが、A I S I 規格工具鋼 A 1 0 などのように、最大添加量が約 2. 0 重量% に及ぶものがあることと、予備テストによって 3 重量% M n の添加によって焼入れ状態で多量の残留オーステナイト相を生成することから、前記発明においては耐摩耗鉄系焼結摺動材料に対する最大添加量を 2. 0 重量% とした（第 1 6 発明）。

40

【0052】

なお、前記第 3 発明～第 1 5 発明の前記耐摩耗鉄系焼結摺動材料の焼結性を改善する観点から 0. 1 ～ 1. 0 重量% P, 0. 0 1 ～ 0. 2 重量% B のいずれか一方もしくはその両方がその焼結摺動材料に添加されることが好ましいことは良く知られている（第 1 6 発明）。

【0053】

N b, T i, C a, T a, Z r 等の添加は、前記第 3 発明～第 1 6 発明において積極的な効果は少ないと考えられるが、元々の素材に含有され場合においては避けることができず

50

、さらに、これらの合金元素が含有された場合においては本発明目的を害する作用がないことから、1重量%以下において含有されても良いものとした。

【0054】

フローティングシールをより高面圧（線圧）、高速化で使用する際のマルテンサイト母相の耐焼付き性を向上させることに関する議論はあまりないが、第17発明においては、Al添加によってFe₃Al規則相を形成し易いマルテンサイト相とすることによって凝着時の発熱を吸着させること、規則相化したマルテンサイトが極めて自由エネルギー的に安定化され凝着しにくくなることを利用してフローティングシール材の耐焼付き性を改善した。

【0055】

より具体的には、本出願人が特願2002-135275号で開示しているように、そのマルテンサイト母相中のAl含有量は3重量%以上においてより効果的であり、本発明のようにCr₇C₃型炭化物および／またはM₆C型炭化物が多量に析出し、かつ、その炭化物へほとんど固溶しないAlはマルテンサイト母相中に濃縮するために、前記耐摩耗鉄系焼結摺動材料としてはAl添加量が1.5重量%以上で効果的となることは明らかであり、Alの上限添加量はFe₃AlもしくはFeAl規則相を形成するAl添加量に相当するが、本発明においてはFe₃Al規則相が顕著に作用する15重量%とし、耐摩耗鉄系焼結摺動材料としては12重量%以下が好ましい。

【0056】

さらに、特願2002-135275号で開示するように、焼結材料の焼結性を改善するためにCuを添加することが好ましいが、25重量%を越えてCuを添加した場合においてはCu相が析出し、耐摩耗性に好ましくないことから、その上限添加量を25重量%とした（第18発明）。

【0057】

前記第1発明～第18発明における耐摩耗鉄系焼結摺動材料の製造方法においては、その焼結工程において部分的にも液相を発生させることによって、その焼結密度を相対密度で93%以上に高めて使用するために、その焼結前の成形体が顕著に収縮して、焼結体としての形状寸法性を確保することが難しく、その結果として焼結体の後機械加工量が多くなり、コスト高になる問題がある。このため、第19発明においては、焼結体寸法性を確保するための裏金に焼結時接合した耐摩耗鉄系焼結摺動複合部材として用いることとした。

【0058】

なお、例えばスラストワッシャとして用いる場合においては、円筒状で薄い粉末成形体（ディスク形状）の内周面にその内周面の内径と接するか僅かに小さい外周面を持つ裏金を配して焼結接合する方法および／または前記粉末成形体の上、下面のいずれか一方とその内周面が焼結接合されるような形状の裏金を配して焼結接合する方法が好ましく（第20発明）、さらに、前記後者のように前記粉末成形体の上、下面のいずれか一方とその内周面が焼結接合されるような形状の裏金を配して焼結接合する方法においては、焼結接合時に発生するガスや余分な液相が接合面における膨れや剥離の原因となり易いことから、それらが裏金との接合面から排出され易いように一本以上のガス排出溝および／またはガス排出孔を前記粉末成形体および／または裏金に設けることが好ましい（第21発明）。

その際のその粉末成形体はそのハンドリング強度や欠けなどに耐えるようにするために、耐摩耗鉄系焼結摺動材料の組成に合わせた合金鋼粉末、黒鉛、その他合金元素と1重量%程度のステアリン酸亜鉛、ステアリン酸系ワックス等の潤滑剤を合わせて混合した後に4～6トン/cm²の大圧力でプレス成形されることが一般に実施され、焼結接合されるが、この場合においては、前記内接する裏金接合位置を中心にして、反り上がる問題が発生するため、第26発明においては、成形体のハンドリング強度とプレス成形時の加圧力が成形体にほぼ均一に分布できるように、粉体の潤滑剤となるワックス類を耐摩耗焼結摺動材料の混合粉末に対して20～35体積%（2.5～5重量%）程度に多く混合し、成型型へその混合粉末の充填性を高めるために2mm径以下に造粒した後、0.4～3.5 ton/cm²の低圧力で加圧成形し、焼結接合処理中に発生する液相を焼結体内に保有し

10

20

30

40

50

易くしながら焼結性を促進し、裏金の形状への倣い性を高めながら裏金に接合させることによって、焼結接合時の反り上がりや液相焼結体の発泡による膨れ等を防止しながら前記耐摩耗鉄系焼結摺動部材を製造することを特徴とした。さらに、前記粉末成形体の上、下面のいずれか一方とその内周面が焼結接合されるような形状の裏金を配して焼結接合する方法においては、その接合面積が大きくなるに従って、焼結接合時に発生するガスが上、下面のいずれか一方とその内周面で囲まれる接合空間に閉じ込められる接合欠陥が発生し易くなるために、第27発明においては、その空間からのガス抜けが容易となるように、一本以上のガス排出溝および／またはガス排出孔を前記粉末成形体および／または裏金に設けることによって、焼結接合時のガス閉じ込めによる膨れ欠陥を防止する製造方法の特徴とした。またさらに、焼結接合方法としては、高濃度のCr, Alを含有することから、露点が-30℃以下のAXガス雰囲気もしくは、少なくとも1 torr以下の真空雰囲気中での焼結接合が好ましく、かつコスト的な観点からは、焼結接合後の冷却過程において耐摩耗鉄系焼結摺動材料部位を100 torr以上のN₂等のガス冷却によって焼入れ硬化することが好ましいことは明らかである。

10

【0059】

さらに、単純な薄い円筒板状のスラストワッシャ等に適用する場合においては、前記内周面に裏金を接する方法を採用する場合においてもその焼結体部位の外周面外径の寸法安定性が確保されないので、第22発明においては、スラストワッシャの二層の表面層をほぼ同一組成の前記耐摩耗鉄系焼結摺動材料から構成し、その二層の中間層にその焼結接合時における収縮または膨張が小さい異種成分の鉄系焼結材料層、もしくは鉄系の裏金材を配置することを特徴とする低歪耐摩耗鉄系焼結摺動複合部材を開発した。

20

【0060】

また、第23発明においては、建設機械の下転輪、上転輪、アイドラ、歯車減速機装置等のオイルシール用のフローティングシールに適用されることを特徴とし、第22発明においては、建設機械の作業機連結部に使用されるスラストワッシャに適用されることを特徴とした。さらに、第25発明においては、建設機械の履帯に使用される履帯ブッシュ端面部に焼結接合および接着してなることを特徴とした。

【0061】

【実施例】

次に、本発明による耐摩耗焼結摺動材料、耐摩耗焼結摺動複合部材およびその製造方法の具体的な実施例について、図面を参照しつつ説明する。

30

【0062】

(実施例1；予備テスト結果)

本実施例では、表1に示される高炭素高Crな耐摩耗鋼を用いて、焼入れによって形成される残留オーステナイト量を調査し、さらに、砥石による摩耗試験を実施し、その時の摺動面における残留オーステナイト量の変化を調査した。

【0063】

【表1】

耐摩耗鋼の残留オーステナイト調査(成分表wt%)

	No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	その他
SKD1	A1	2.02	0.3	0.43	12.48			
SKD11	A2	1.54	0.2	0.35	11.32	0.91	0.28	
RH12	A3	0.96	0.49	0.53	12.93			
RH40	A4	0.62	0.29	0.4	13.33			
SUS57	A5	1.07	0.47	0.51	15.88	0.51		0.17Ni
SKD12	A6	0.97	0.38	0.88	4.97	0.9	0.29	
10Cr ₃ Mn	A7	1.75	0.33	3.6	10.53			
6Cr ₇ Mn	A8	1.87	0.33	6.93	6.2			

40

【0064】

50

図 1 には焼入れ温度と残留オーステナイト相量との関係、図 2 には残留オーステナイト量と硬さとの関係、図 3 には摩耗試験前後の残留オーステナイト相量の関係が示されている。これらの図から明らかなように、残留オーステナイト相は焼入れ温度を高めると急激に増加し、1100℃以上の温度からの焼入れによって60体積%以上に達するようになり（図 1 参照）、硬さ的には、残留オーステナイトが60体積%以上において、HRC50以上の硬さが得られなくなる危険性が高くなることがわかる（図 2 参照）。さらに、摩耗試験前後の残留オーステナイト相の量的関係図（図 3 参照）からは、試験前に60体積%以下の範囲で存在する残留オーステナイト相は摺動面での摩耗時に発生する応力によって約50%が加工誘起マルテンサイト相に変化し、その表面が顕著に硬化するために、耐摩耗性を劣化させることがほとんどなく、60体積%以上の残留オーステナイト相が存在する場合には、残留オーステナイト自身がより安定化された状態にあるために、耐摩耗性の点において劣化が認められることがわかった。

10

【0065】

したがって、焼結温度を1100～1250℃とする耐摩耗鉄系焼結摺動材料においては、その焼結温度から焼入れした場合には、60体積%以上の残留オーステナイト相を残留させることが問題となるので、焼結後においては900～1100℃の焼入れ温度に炉冷した後に焼入れることが望ましいことがわかる。

【0066】

（実施例 2；耐摩耗鉄系焼結摺動材料の焼結温度における平衡組成の調査）

本実施例では、Fe-0.6重量% C-0.3重量% Si-0.45重量% Mn-15重量% Cr-3重量% Mo-1.2重量% V 合金粉末と、Fe-0.6重量% C-0.3重量% Si-0.35重量% Mn-9重量% Cr-6重量% Mo-4重量% W-1.2重量% V 合金粉末をベースにして、さらに、#350アンダーのNi, Co, Si, FeAl, FeP粉末および平均径6μmの黒鉛粉末を調整して、表 2 に示される3種類の焼結合金混合粉末を混合調整し、さらに、混合調整した焼結用混合粉末に3重量%のパラフィンワックスを添加したものを1.0トン/cm²の圧力でプレス成形したA, B組成の成形体を1190℃、C組成の成形体を1135℃でそれぞれ2時間真空焼結し、1000℃に炉冷した後に、400torrの窒素ガスで冷却焼入れを実施し、その焼結体試験片を切断研磨後に、X線マイクロアナライザーによってマルテンサイト母相とその母相に析出分散する炭化物中の各種合金元素濃度を調査した。この調査結果が表 3 に示されている。

20

30

【0067】

【表 2】

EPMA分析用焼結合金組成(wt%)

	C	Si	Al	Mn	Cr	Mo	V	W	Ni	Co	P
A	3	0.6	0.7	0.4	15	3	1.3	-	2	3	0.25
B	3	0.6	-	0.4	15	3	1.5	-	4	-	0.25
C	3	0.6	-	0.2	9	6	2	4	4	-	0.3

【表 3】

焼結シールのEPMA分析結果 (wt%)

	No.	相およびK	C	Si	Al	Cr	Mo	V	W	Ni	Co
PM15Cr3Mo3Co	A	母相	0.4	0.8	0.9	6.2	2.1	0.27		2.1	4
		M ₇ C ₃	8.45	0.04	0.02	40	4.9	4.7		0.2	0.9
		KM ₇		0.05	0.02	6.45	2.33	17.41		0.10	0.23
PM15Cr3Mo4Ni	B	母相	0.43	0.86		7.12	2.16	0.34		5.2	
		M ₇ C ₃	8.42	0.03		39.9	4.96	4.67		0.36	
		KM ₇		0.03		5.60	2.30	13.74		0.07	
PM9Cr6Mo4W	C	母相	0.44	0.85		4.27	1.52	0.37	1.23	5.33	4.96
		M ₇ C ₃	7.61	0.04		27.7	3.72	6.79	3.61	.49	1.2
		KM ₇		0.05		6.49	2.45	18.35	2.93	0.09	0.24
		M ₆ C	1.85	2.02		4.08	30.3	2.1	28.4	2.11	2.46
		KM ₆		2.38		0.96	19.93	5.68	23.09	0.40	0.50

10

【 0 0 6 8 】

前記焼結合金 A, B は、高 Cr な 1 5 C r - 3 M o 系合金に 3 重量%の C o と 4 重量%の N i を添加した合金であり、マルテンサイト母相と C r₇C₃ 型炭化物のみが平衡するものである。また、焼結合金 C は、M o, W 濃度を高めて、マルテンサイト母相中に C r₇C₃ 型炭化物と M₆C 型炭化物が平衡するようにしたものである。

【 0 0 6 9 】

表 3 中の母相、M₇C₃ および M₆C 欄にはそれぞれの合金元素濃度を示しており、K M₇ は M₇C₃ 型炭化物と母相間の合金元素 M の分配係数 (M₇C₃ 型炭化物中の合金元素重量% / 母相中の合金元素重量%) および K M₆ は M₆C 型炭化物と母相間の合金元素の分配係数 (M₆C 型炭化物中の合金元素重量% / 母相中の合金元素重量%) を示している。これら各合金元素の分配係数を比較することによって、各種合金元素の特徴を検討することができる。

20

【 0 0 7 0 】

また、これらの結果を用いて、M₇C₃ 型および M₆C 型炭化物中の合金元素濃度とそれと平衡する母相の中の合金元素濃度関係が図 4 (a), 図 4 (b) にそれぞれ示されている。この図から、各元素に関してはほぼ一定の比率で合金元素が分配されること、および、耐摩耗鉄系焼結摺動材料組成が異なっていた場合においても分配係数はほぼ同じになることがわかる。

30

【 0 0 7 1 】

例えば、S i, A l は M₇C₃ 型炭化物にほとんど固溶せずにはほぼ全量がマルテンサイト母相中に濃縮すること、V は M₇C₃ 型炭化物への C r, M o, W よりも多く濃縮すること、M o, W は M₇C₃ 型炭化物よりも M₆C 型炭化物に顕著に濃縮すること、N i, C o はいずれの炭化物よりもマルテンサイト母相中に濃縮することなどがその分配係数を用いることによって定量的にわかる。

【 0 0 7 2 】

表 4 には、前記各種合金元素の分配係数に基づいて、代表的な S K D, S K H 工具鋼材の成分から、それら鋼材のマルテンサイト母相組成と炭化物量を解析した結果が示されている。特徴的には、それらの鋼材のマルテンサイト母相は、C r : 3 . 5 ~ 7 . 5 重量%に調整され、M o : 0 . 8 ~ 1 . 5 重量%および / または W : 1 ~ 4 . 5 重量%を基本組成として、炭化物種としては S K D 鋼材においては 0 ~ 2 0 体積%の硬質で安価な C r₇C₃ 型炭化物と微量の M C (V₄C₃) 型炭化物、S K H 鋼材においては 0 ~ 1 5 体積%の耐熱性に富む M₆C 型炭化物と M C 型炭化物を使い分けていることがわかった。

40

【 0 0 7 3 】

【 表 4 】

各種SKDおよびSKH鋼材のマルテンサイト母相組成(重量%)と分散する炭化物量(体積%)の解析結果

鋼材記号		C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co	炭化物量(体積%)		
										Cr ₇ C ₃	M ₆ C	MC
SKD1	鋼材組成	2.1	0.35	0.52	12.9					18%		
	母相組成	0.7	0.43		6.6							
SKD2	鋼材組成	2.08	0.32	0.53	12.7		2.7			17%		
	母相組成	0.7	0.4		6.5		2.1					
SKD11	鋼材組成	1.46	0.37	0.44	11.8	0.95		0.31	3.48	12%		
	母相組成	0.5			7.4	0.8		0.14	3.8			
D7	鋼材組成	2.25	0.31	0.41	12.4	1.07		4		19%		1.60%
	母相組成	0.5	0.4		6.3	0.82		0.7				
SKD12	鋼材組成	0.99	0.29	0.68	4.7	0.89		0.39		5%		
	母相組成	0.7	0.3		3.8	0.8		0.25				
SKD61	鋼材組成	0.38	1.02	0.39	4.8	1.2		0.89		0%		
	母相組成	0.38	1.02		4.8	1.2		0.7				
SKD62	鋼材組成	0.37	1.01	0.36	4.9	1.11	1.09	0.34		0%		
	母相組成	0.37	1.01	0.36	4.9	1.11	1.09	0.34				
SKH2	鋼材組成	0.73	0.2	0.41	4.21	0	18.6	1			15%	
	母相組成	0.5	0.16		4.3	0	4.3	0.6				
SKH9	鋼材組成	0.89	0.26	0.42	4.49	4.73	6.72	2.5			12%	1.30%
	母相組成	0.5	0.21		4.5	1.45	1.8	0.7				

注記)Cr₇C₃炭化物:8.5重量%C, M₆C炭化物:2重量%C, MC炭化物:15重量%C

【0074】

また、SKD61、62はSiを0.8～1.2重量%範囲で添加していることを除けば、その他ほとんどのSKD、SKH鋼材においてはSi添加量を0.5重量%以下に低く抑えていることがわかる。

【0075】

したがって、より焼戻し軟化抵抗性の優れた耐摩耗鉄系焼結摺動材料を開発するに当たっては、これらSKD、SKH鋼材の母相組成を参考にして、これに適正な前記炭化物を分散させた組成のものが好ましいことは明らかであり、前記第2発明～第10発明では、安価で硬質なCr₇C₃型炭化物および耐熱性に富むM₆C型炭化物を適量共存させながら、かつ、総炭化物量を20～45体積%増量して、さらに、マルテンサイト母相中のCr、Mo、Si、V等を適量に配合することによって焼戻し軟化抵抗性を適正化するものである。

【0076】

(実施例3；フローティングシールの製造)

表5には、本実施例で使用した耐摩耗鉄系焼結摺動材料とその比較材料として利用した試験片の組成が示されている。なお、耐摩耗鉄系焼結摺動材料には焼結時に析出分散する炭化物種とその量が併記されている。

【0077】

【表5】

10

20

30

40

実施例3における供試焼結材の組成(重量%)

Cr ₇ 体積%	MgC体積%			C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Ni	Co	Al	Cu	P
40		No.1	母相組成	0.5	1.7		5.5	1	0	0.2	2.5	0	0		0.2
			鋼材組成	3.70	1.03		16.50	1.60	0.00	1.16	1.60	0.00	0.00		
25		No.2	母相組成	0.5	1.7		5.5	1	0	0.2	0	0			0.2
			鋼材組成	2.50	1.28		12.38	1.38	0.00	0.80	0.00	0.00			
30		No.3	母相組成	0.5	0.4		6	2		0.2	2.5	0			0.2
			鋼材組成	2.90	0.28		15.00	2.90	0.00	0.92	1.83	0.00			
30		No.4	母相組成	0.5	0.4		6	2	0	0.2	2.5	5			0.2
			鋼材組成	2.90	0.28		15.00	2.90	0.00	0.92	1.83	3.85			
30		No.5	母相組成	0.5	0.4		6	2	0	0.2	5	0			0.2
			鋼材組成	2.90	0.28		15.00	2.90	0.00	0.92	3.65	0.00			
30		No.6	母相組成	0.40	0.40		6.00	1.00		0.65	2.50				0.2
			鋼材組成	2.83	0.28		15.00	1.45	0.00	2.99	1.83	0.00			
30		No.7	母相組成	0.5	0.3		2.5	3.5		0.4	1.4	0			0.2
			鋼材組成	2.90	0.21		6.25	5.08	0.00	1.84	1.02	0.00			
30		No.8	母相組成	0.5	4.5		2.5	1.7		0.25	1.4	0			0.2
			鋼材組成	2.90	3.18		6.25	2.47	0.00	1.15	1.02	0.00			
30		No.9	母相組成	0.5	0.3		2.5	2	2	0.4	1.4				0.2
			鋼材組成	2.90	0.21		6.25	2.90	2.90	1.84	1.02	0.00			
30		No.10	母相組成	0.6	0.3		3.5	3		0.2	5		1.5		0.2
			鋼材組成	2.97	0.21		8.75	4.35	0.00	0.92	3.65	0.00	1.06		
30		No.11	母相組成	0.5	2		3.5	2		0.2	1.4		1		0.2
			鋼材組成	2.90	1.41		8.75	2.90	0.00	0.92	1.02	0.00	0.71		
30		No.12	母相組成	0.5	0.5		2.5	0.4		0.1	0		5		0.2
			鋼材組成	2.90	0.35		6.25	0.58	0.00	0.46	0.00	0.00	3.53		
30	0	No.13	母相組成	0.5	0.5		2.5	0.4		0.1	0	0	5	15	0.2
			鋼材組成	2.90	0.35		6.25	0.58	0.00	0.46	0.00	0.00	3.53	10.59	
20	10	No.13-2	母相組成	0.50	0.40		6.00	1.50		0.60	2.00	0.00			0.2
			鋼材組成	2.25	0.37		11.97	4.80	0.00	2.32	1.52	0.00			
20	10	NO.14	母相組成	0.5	0.8		3	3		0.7	2				0.2
			鋼材組成	2.25	0.75		5.99	9.60	0.00	2.71	1.52	0.00			
30	10	NO.15	母相組成	0.5	1.2		3	3		0.6	2	0			0.2
			鋼材組成	3.05	1.00		7.49	10.05	0.00	3.04	1.34	0.00			
20	20	NO.16	母相組成	0.5	3.3		3	2		0.7	2	0			0.2
			鋼材組成	2.40	3.51		5.97	10.20	0.00	3.04	1.40	0.00			
20	30	NO.17	母相組成	0.55	1.5		3	2		0.6	2				0.2
			鋼材組成	2.58	1.79		5.96	14.00	0.00	2.89	1.28	0.00			
10	40	NO.18	母相組成	0.55	1.5		3	2		0.6	2	10			0.2
			鋼材組成	1.93	2.13		4.44	17.50	0.00	2.45	1.34	7.23			
10	40	NO.19	母相組成	0.55	4		3	1		0.35	2				0.2
			鋼材組成	1.93	5.69		4.44	8.75	0.00	1.43	1.34	0.00			
20	25	NO.20	母相組成	0.55	1.5		5.5	1		0.6	2				0.2
			鋼材組成	2.50	1.69		10.93	6.05	0.00	2.75	1.34	0.00			

【 0 0 7 8 】

また、耐摩耗鉄系焼結摺動材料は表5に示した組成になるように#150メッシュアンダーのベース鋼粉末に実施例2と同じ黒鉛、Si、Ni、Co、FeAl、FePおよび#350メッシュアンダーのFeMoC、FeWC、FeCrC、FeV合金粉末を使って混合し、その混合粉末に対して3重量%のパラフィンワックスを添加して、ハイスピードミキサを使って100℃で10分間混合造粒した後に、成形圧力1ton/cm²の条件で図5(a)に示すリング形状の成形体Aに成形し、SS鋼材から加工したベース材B上に配置した後、真空雰囲気炉を使って、焼結層の相対密度が93%以上になるように、1100～1250℃の温度で2時間焼結接合し、1100℃から400torrのN₂ガス雰囲気下で焼入れ処理を施し、焼入れ後に550℃で2時間の焼戻し処理を施したもの

10

20

30

40

50

(焼結接合試験片C)を作成した。また、前記焼結後に1000℃に炉冷却した後に、前記N₂ガスでの焼入れを実施したものも作成した。

【0079】

前記焼結接合試験片Cを図5(b)に示す形状に研削後、図中に示すシール面部C₁をラップ加工して仕上げた後に、図6に示す摺動試験機を用いてSiO₂を約50重量%含有する泥水中で耐摩耗性と焼付き限界条件の調査に供した。なお、摩耗量は500時間連続試験後のシール当たり位置の移動量(mm)で計測し、焼付き限界条件はシール荷重(線圧)を一定にした条件で、摺動抵抗が増大する回転速度を調査することによって求め、表6に示した。

【0080】

また、前記耐摩耗性と焼付き性の比較材料として、Fe-3.4C-1.5Si-15Cr-2.5Mo-1.5NiとFe-3.5C-1.5Si-9Cr-6Mo-4.5W-2V-2Ni-3Co組成の铸铁シール材料(FC15Cr3Mo, FC9Cr6Mo)および表4に記載のSKD11, SKH9を取上げ、その結果についても表6に示した。

【0081】

【表6】

耐摩耗性と焼付き限界の試験結果

合金No.	PV値	摩耗量(mm)	PV値	摩耗量(mm)
	1100℃	1100℃	1000℃	1000℃
NO.1	3	0.65		
NO.2	2.15	1.5		
NO.3	2.45	1.1		
NO.4	3.15	0.9		
NO.5	2.75	1.3		
NO.6	2.9	0.7		
NO.7	3	0.45	2.85	0.6
NO.8	3.4	0.5		
NO.9	3.1	0.45	2.9	0.7
NO.10	2.95	0.75		
NO.11	3.6	0.6		
NO.12	5	0.95		
NO.13	5.25	1.05		
NO.13-2	3.15	0.65		
NO.14	3.7	0.35	3.6	0.55
NO.15	3.6	0.45		
NO.16	3.8	0.3		
NO.17	4.15	0.6		
NO.18	4.6	0.25		
NO.19	4.25	0.5		
NO.20	3.85	0.65		
FC15Cr3Mo	1.85	1.8		
FC9Cr6Mo	2.45	2		
SKD11	1.6	4.1		
SKH9	1.8	3.2		

【0082】

この調査の結果、次のことがわかる。

(1) FC15Cr3Mo铸铁シールのPV値と耐摩耗性を較べると、例えばNo.1～No.6の焼結材料が優れていることがわかる。これは炭化物組織の違いによることが明

10

20

30

40

50

らかである。

(2) Cr_7C_3 型炭化物が約 12 体積% 分散する SKD 11 と 25 体積% の Cr_7C_3 型炭化物を含有する No. 2 の耐焼付き性および耐摩耗性を比較すると、炭化物量が 20 体積% 以上で含有されることが好ましく、25 体積% 以上がより好ましい。

(3) No. 3 と No. 4, No. 5 の比較によって、マルテンサイト母相中の Co を 3 重量% 以上にするによって耐焼付き性と耐摩耗性が顕著に改善される。

(4) 残留オーステナイト量が多い場合には、その耐焼付き性が改善されるが、耐摩耗性が悪くなることから、マルテンサイト母相中の Ni は 5 重量% 以下になるように調整することが好ましい。

【0083】

No. 6, No. 7, No. 8, No. 9 では母相中における V, Mo, Si, W 増量作用を調べた。この結果、

(5) それらの増量によって耐焼付き性と耐摩耗性の改善が認められる。

(6) とりわけ、No. 8 の高 Si 化による改善がより経済的であることがわかる。

(7) また、No. 7, No. 9 は焼入れ温度を 1000℃ に下げ、Mo, W の焼戻し軟化抵抗を抑えたものであり、その耐摩耗性がわずかに低下することがわかる。

【0084】

No. 10 ~ No. 13 は Al の添加作用を調べたものであるが、先の No. 8 と同様に、

(8) Al および Al と Si の増量によって耐焼付き性が顕著に改善されることがわかる

(9) さらに、高濃度の Al 添加によって経済的に耐焼付き性が顕著に改善されることがわかる。

【0085】

No. 14 ~ No. 19 は M_6C 型炭化物を 10 体積% 以上分散させたものであり、

(10) 先の No. 7 と較べた場合において、耐焼付き性が顕著に改善されることがわかる。

(11) 母相中の高 Si 化を図ることによって、より経済的に耐焼付き性と耐摩耗性が改善されることがわかる。さらに、比較材料 FC₉Cr₆Mo および SKH9 と較べた場合においても、前記 (1) の炭化物組織および炭化物量と同じ観点から、10 体積% 以上の M_6C 型炭化物と総炭化物量が 20 ~ 50 体積% であることが好ましいことがわかるが、耐焼付き性と耐摩耗性に対する炭化物の作用と合金添加に関する経済性を考慮すると、総炭化物量としては 25 ~ 45 体積% が好ましい。

【0086】

(実施例 4 ; 複合部材とその製造方法)

実施例 3 のフローティングシール試験片 (図 5 (a), (b)) を製造する方法において、従来の有機潤滑剤を 1 重量% 添加した混合粉末を成形した場合、原料鉄合金粉末の硬さが硬いこともあって、3.5 t o n / c m² 以下の成形圧力では、その成形体のハンドリングが難しく、5 ~ 6 t o n / c m² 以下の成形圧が必要であること、および、実施例 3 と同じ条件で焼結接合する場合において、成形体の内周面に接する裏金材 (ベース材) と接合した後、底面側が裏金材と接合せずにその外周部位が反り上がることが観察された。本実施例では、まず、焼結材と内周面で接合する裏金部材の高さ (堰の高さ) (図 5 (a)) と成形体厚さ (2 mm) の関係を調査した結果、その堰の高さが成形体厚さの 1 / 2 以下に低くなるほど、さらに成形体の成形圧力が高いほど (高密度であるほど) 前記反り上がり現象や堰を乗り越える現象が頻発することを確認し、この現象が焼結接合時の大きな収縮力に起因するものと考え、本実施例では、前記焼結接合時の収縮力を小さくする観点から、成形圧力を 0.2 ~ 3.5 t o n / c m² とし、その成形体にほぼ均一に成形圧力が伝わるとともに、成形体ハンドリング強度が発現されるように、前記耐摩耗鉄系焼結摺動材料の原料混合粉末に対して有機潤滑剤 (マイクロクリスタリンワックス) を 16 ~ 40 体積% 添加した後、ハイスピードミキサを用いて 100℃ で混合し、冷却しながらそ

10

20

30

40

50

のミキサーの持つ造粒機構を使って2mm径以下に造粒して、その流動性を確保しながら、前述の金型を使って成形した。その結果、成形体のハンドリング性から有機潤滑剤の添加量は2.5重量%以上が好ましく、添加量が3.5重量%以上の場合には、 2.5 ton/cm^2 以上の加圧力では成形体の気孔率がほぼ0%となり、金属粒子間の隙間を有機潤滑剤が完全に密封する状態となり、焼結途中の脱脂過程で成形体が発泡する危険があることなどの条件から、有機潤滑剤は2.5~5.0重量%とし、成形圧力は0.4~3.5 ton/cm^2 がより好ましいことがわかった。

【0087】

このような条件で製造された成形体を使って、前記フローティングシールを製造した結果、成形体の焼結接合時における反り上がりが完全に防止されたが、これらのフローティングシールの接合面の接合状況を超音波探傷法で調査した結果、内周面側の底面接合面に円周上の未接合部が発生し易いことがわかり、これが、この部位に焼結接合中に発生するガスが閉じ込められることに起因することがわかった。そのため、本実施例では、図7(a)(b)に示されるように、耐摩耗鉄系焼結摺動部材の内周面と接合する裏金部材の堰の4箇所1mm幅のガス抜き用の切り込みEを入れるとともに、堰と底面との交差部分に0.5mmのガス抜き溝Fを設けることによって前記接合不良の問題を解決した。なお、前述の説明では、裏金部材にガス抜き溝および/またはガス抜き用の切り込み(孔であっても良い)を設けるものとしたが、同様の機能は前記成形体内周面と底面と内周面のコーナ部などに予め形状的に織り込むことによって解決できることは明らかである。

【0088】

また、同じ考え方で、図8(a)に示すような成形体内周面に薄肉な円筒状裏金D₁を配置したスラストワッシャ、および図8(b)に示すような耐摩耗鉄系焼結摺動材料の中間に裏金D₂を配するか、もしくは別組成で耐摩耗鉄系焼結摺動材料の焼結温度でほとんど寸法変化しない鉄系焼結体D₂を配して焼結接合したスラストワッシャを製造することができた。さらに、図9に示されるような履帯ブッシュの端面部に実施例3に記載の耐摩耗鉄系焼結摺動材料を焼結接合した、端面部耐摩耗性に優れた履帯ブッシュに適用できることは明らかである。同様に、図10(a)~(d)に示されるような、作業機連結装置に利用されるスラストワッシャに適用できることも明らかである。

【0089】

また、前記A1を含有する耐摩耗鉄系焼結摺動材料においては焼結時の初期において顕著に膨張し、図10(c),(d)のように円筒状裏金の内周面に焼結接合できることは、本出願人の先願になる特願2002-135275号に記載した通りである。この技術と組み合わせることによって、スラストとラジアルの両耐摩耗摺動特性を改善したスラストワッシャが有効に製造できることは明らかである。さらに、図8(a)に示すような成形体内周面に薄肉な円筒状裏金D₁を配置したスラストワッシャとは逆に、その成形体の外周面に円筒状裏金D₁を配置したスラストワッシャが製造できることも明らかである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、焼入れ温度と残留オーステナイト相量との関係を示すグラフである。

【図2】図2は、残留オーステナイト量と硬さとの関係を示すグラフである。

【図3】図3は、摩擦試験前後の残留オーステナイト相量の関係を示す図である。

【図4】図4(a)(b)は、M₇C₃型およびM₆C型炭化物中の合金元素濃度とそれと平衡する母相の中の合金元素濃度関係を示す図である。

【図5】図5(a)(b)は、焼結接合試験片形状を示す図である。

【図6】図6は、フローティングテストの概略図である。

【図7】図7(a)(b)は、裏金部材に設けられるガス抜き用の切り込みおよびガス抜き溝を示す図である。

【図8】図8(a)(b)は、内周面に円筒状裏金を配置したスラストワッシャの断面図である。

【図9】図9は、履帯ブッシュ端面焼結接合部材を示す断面図である。

【図10】図10(a)~(d)は、作業機連結装置に利用されるスラストワッシャを示

10

20

30

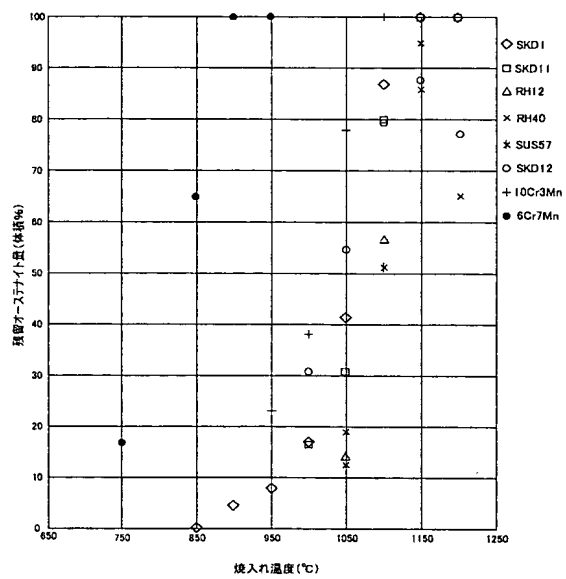
40

50

す断面図である。

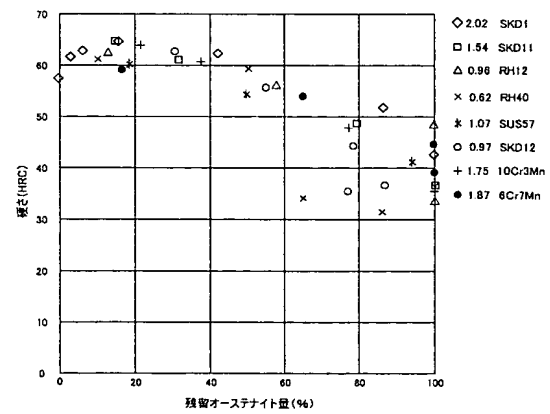
【図 1】

耐摩耗材料の残留オーステナイト量と焼入れ温度との関係

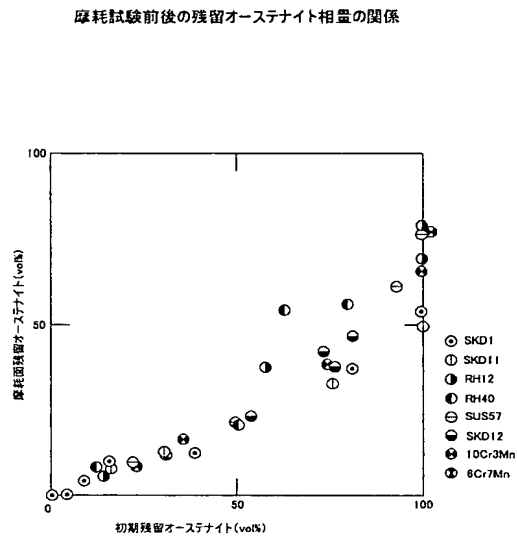


【図 2】

マルテンサイト中の残留オーステナイト量と硬さとの関係



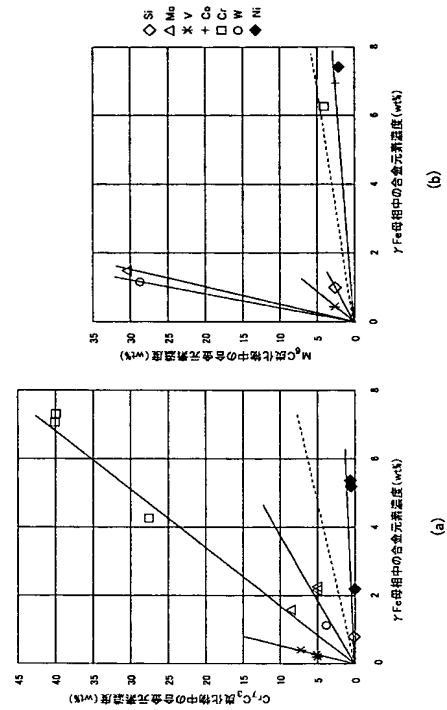
【図 3】



【図 4】

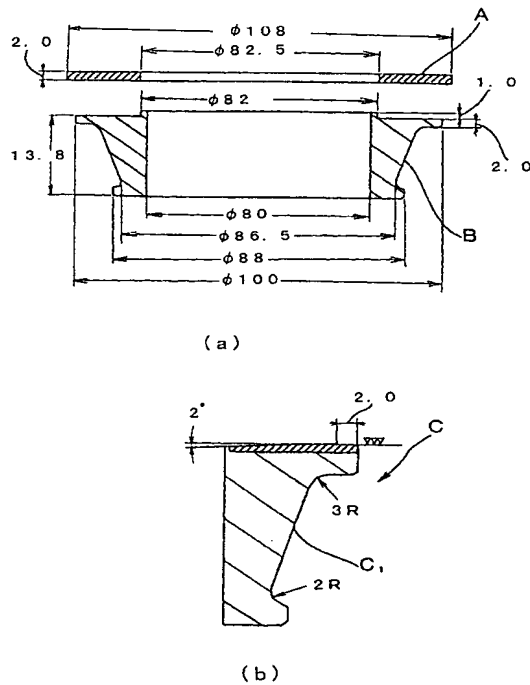
M_6C と γ Fe母相間の合金元素の分配

Cr_7C_3 と γ Fe母相間の合金元素の分配



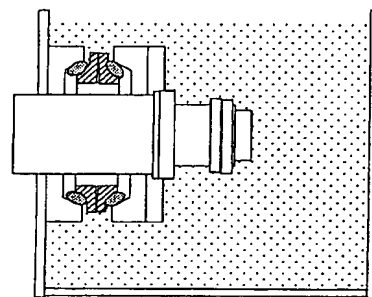
【図 5】

焼結結合試験片形状を示す図



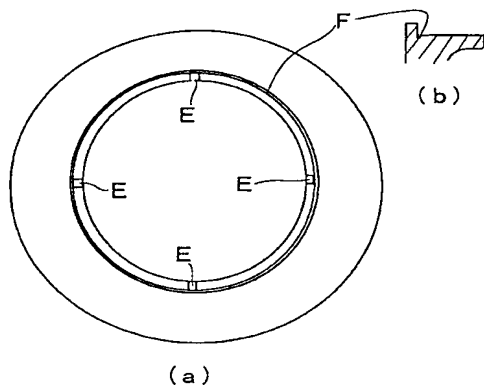
【図 6】

フローティングテストの概略図



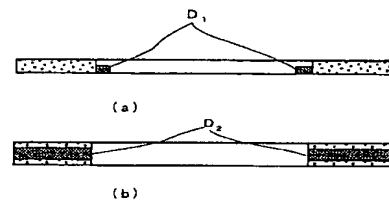
【図 7】

ガス抜き用の切り込みおよびガス抜き溝を示す図



【図 8】

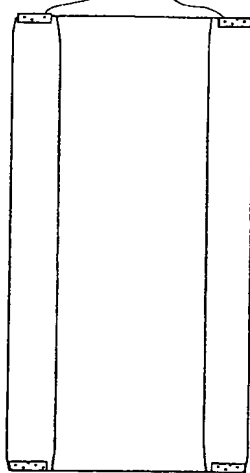
内周面に円筒状裏金を配置したスラストワッシャの断面図



【図 9】

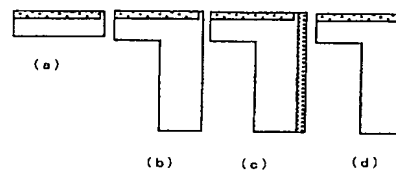
履帯ブッシュ端面焼結接合部材

耐摩耗係数低減部材



【図 10】

作業機連結装置に利用されるスラストワッシャの断面図



フロントページの続き

(72)発明者 大西 哲雄

大阪府枚方市上野 3 丁目 1 - 1 株式会社小松製作所生産技術開発センタ内

Fターム(参考) 4K018 AA32 BA16 CA08 DA33 EA13 JA12 KA02